

ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА НА БЕЗЖИЧНИ СЕНЗОРСКИ МРЕЖИ СО ПОСЕБЕН ОСВРТ НА ПЕРФОРМАНСИТЕ НА ZIGBEE ПРОТОКОЛОТ

Борис Михајлов, Митко Богданоски, Сашо Гелев

Европски Универзитет – Скопје, Р. Македонија

mihajlov.boris@live.eurm.edu.mk, {mitko.bogdanoski, saso.gelev}@eurm.edu.mk

Анстракт – Безжичните сензорски мрежи (Wireless Sensor Networks-WSN) се состојат од мали јазли со способност за набљудување, пресметување и безжични комуникации. Дизајнот на безжичните сензорски мрежи зависи од многу фактори, меѓу кои и грешки при преносот, мрежна топологија и потрошувачка на енергија. Флексибилноста, високата осетливост, ниската цена и брзо-распоредувачките карактеристики на сензорските мрежи создаваат многу нови и постоечки применети области. Во иднина, овој широк спектар на применети области ќе направи сензорските мрежи да бидат составен дел од нашите животи.

Во овој труд ќе дадеме детален преглед на IEEE 802.15.4/ZigBee стандардот, кој дозволува едноставна интеракција помеѓу сензорите. Ќе биде опишан начинот по кој се одвива интеракцијата помеѓу слоевите и нивните улоги во самиот процес на пренос на податоците.

Исто така, ќе предложиме симулациски модел направен во симулациската алатка - OPNET Modeler, со фокус на имплементацијата на GTS (Guaranteed Time Slot) механизмот во самиот протокол. Симулациската анализа ќе обезбеди резултати за пропустливоста на јазлите, временското задоцнување во рамката, како и сигурноста на пренесените податоци.

Клучни Зборови: Безжични сензорски мрежи, рутирачки протоколи, OPNET.

I. ВОВЕД

Во 1999 година беше наречена една од “21 идеи за 21-от век” [1], а во 2003 година беше претставена како една од “10 нови технологии кои ќе го променат светот” [2]. Оваа револуционерна технологија е позната како Безжични сензорски мрежи (WSN). Развојот на оваа технологија е поткрепен со напредокот во електронската минијатуризација (вклучувајќи ги и микро електро-механичките системски (MEMS) технологии), безжичните комуникации и ниските трошоци за производство.

Рутирачките протоколи во безжичните сензорски мрежи се разликуваат во зависност од апликацијата и мрежната архитектура. Сензорите кои се употребуваат

се мали, евтини, интелигентни, за еднакратна употреба и можат да бидат распоредени во голем број, во средини каде што човечката нога нема пристап, области зафатени од катастрофи, бојни полиња.

Овие сензорски јазли се конфигурираат самостојно и содржат еден или повеќе сензори, вградени безжични комуникациски и податочни компоненти и ограничени извори на енергија. Поради големиот број на јазли и опасната средина во која овие јазли се распоредени, нивните батерии не може да се заменуваат. Неуспехот на еден јазол во мрежата би можел да предизвика поделеност на мрежата и отсекување на дел од безжичната сензорска мрежа. Животниот циклус на мрежата зависи од животниот циклус на секој јазол поединечно. Безжичните сензорски мрежи покрај големиот број на сензорски јазли, содржат и базна станица. Сензорските јазли ги рутираат податоците за околината до базната станица. Сензорскиот јазол понекогаш се нарекува *извор* (source), а базната станица *sink*.

Сензорите се карактеризираат со способност за осетливост, обработка на податоците и комуникација. Сензорското движење во сензорските јазли прави мерење на различни параметри во средината во која што оперира и ги преобразува во електричен сигнал.

Скалабилноста е уште едно важно прашање во дизајнот на такви мрежи. Секој протокол дизајниран за такви мрежи треба да биде скалабилен, со цел да може да се справи со поголеми мрежи од илјадници сензорски јазли.

Најважно е секој протокол дизајниран за WSN да е специфициран за одредена апликација.

Веќе е прифатено WSN да можат да бидат распоредени за воена и цивилна примена, т.е. во безбедноста, за набљудување на животната средина, сообраќајот, автопатиштата, справување со катастрофи и уште многу примени.

Постојат четири модели на безжични сензорски мрежи, и тоа [3]:

Модел 1: Сензорските јазли и базната станица се статични.

Модел 2: Сензорските јазли се мобилни, но базната станица е статична.

Модел 3: Сензорските јазли се статични, но базната станица е мобилна.

Модел 4: Сензорските јазли и базната станица се мобилни.

Цел на ова истражување е анализа на перформансите на безжичните сензорски мрежи со помош на 802.15.4/ZigBee протоколот кој се карактеризира со голема флексибилност за широк спектар на апликации со лесно прилагодување на неговите параметри, исто така, гарантирање на пренос во реално време со помош на “гарантиран временски слот” (Guaranteed Time Slot - GTS) механизмот. За да ги постигнеме овие цели овој труд ќе претстави детален преглед на безжичните сензорски мрежи и содржината на ZigBee протоколот. Со цел попрегледен и пореален приказ на перформансите на ZigBee протоколот и неговото однесување во реална околина, во овој труд ќе се извршат и одредени симулации, а за таа цел ќе биде искористена симулационата алатка OPNET Modeler.

II. БЕЗЖИЧНИ СЕНЗОРСКИ МРЕЖИ

Безжичната сензорска мрежа се состои од голем број на сензорски јазли, безжично поврзани едни со други, и базна станица, која ги поврзува сензорските јазли со друга мрежа. Сензорските мрежи наоѓаат голема употреба и се сосема ново поле за истражување, кое во моментот брзо расте.

A. Еволуција на безжичните сензорски мрежи

Развојот на сензорските мрежи беше инициран од страна на Соединетите Американски Држави за време на Студентата војна [4]. Мрежа од акустични сензори била поставена на стратешки локации на дното на океанот за да ги открива и следи подморниците на Советскиот сојуз. Овој систем од акустични сензори бил наречен *Систем за следење на звукот* (Sound Surveillance System-SOSUS).

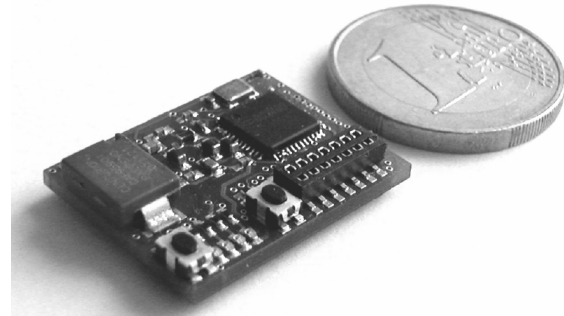
За време на истиот период, САД, исто така, распоредиле мрежи на радар за противвоздушна одбрана. Овие сензорски мрежи користат хиерархиска обработка, каде што податоците се обработуваат на различни слоеви се додека податоците не го достигнат корисникот. Човечките оператори играат важна улога во овие системи. И двете од овие сензорски мрежи се две од главните дизајнерски прашања поврзани со WSN рутирачките протоколи [4].

Во средината на 1980-тите години, Институтот за технологија во Масачусетс (Massachusetts Institute of Technology-MIT) разви DSN (Deployment-Support Network) која се состоел од акустични сензори дизајнирани да го следат ниското летање на авионите [4]. Низа од шест наредени микрофони биле искористени за акустични сензори.

Еден од поновите WSN проекти е Безжична Самоодржлива Сензорска Мрежа (Wireless Self-Sustaining Sensor Network-WSSN), проект на

Институтот за компјутерска технологија на Виенскиот универзитет за технологии (Vienna University of Technology-TUV) [5].

Истражувањето се фокусираше на развој на евтин, енергетски ефикасен хардвер и енергетски ефикасен MAC (Medium Access Control-MAC) слој [6]. Еден од создадените јазли е прикажан на Слика 1.



Слика 1. TUV WSSN јазол со големина на 1 Евро

B. Фактори кои влијаат на дизајнот на безжичните сензорски мрежи

Во безжичните сензорски мрежи може да бидат вградени различни типови на сензори, вклучително и: сензори за температура, вибрации, инфрацрвени зраци и акустика [7].

Иако WSN апликациите се разликуваат во голема мера, постојат неколку заеднички фактори кои влијаат на сите WSNs. Тие вклучуваат: *сигурност, скалабилност, производствени трошоци, мрежна топологија, средина на оперирање, медиум за пренос и потрошувачка на енергија* [7]. При дизајнирање на протоколи за WSN многу е важно да се земат во предвид овие фактори.

Сигурност

Интерференција во околината, физичкото оштетување или исцрпен извор на енергија може да предизвика сензорскиот јазол да доживее неуспех. Сепак, важно е неуспехот на еден сензорски јазол да не влијае на целокупната ефикасност на мрежата. Сигурноста во WSN е способност на мрежата да ја одржи својата функционалност, без оглед на неуспехот на јазлите.

Скалабилност

Безжичните сензорски мрежи можат да се состојат од стотици до илјадници, па дури и милиони јазли. WSN протоколите треба да бидат дизајнирани за да може да работат со овој голем број на јазли и да ја користат високата густина на јазлите. Густината на WSN може да биде од неколку јазли, до неколку стотици јазли на метар квадратен.

Производствени трошоци

Трошоците за производство на еден сензорски јазол, поради големиот број на јазли во мрежата, се многу важно прашање во WSN. За да бидат безжични сензорски мрежи со илјадници или милиони јазли

финансиски издржливи, цената на еден јазол треба да биде многу помала од \$1 [7].

С. Мрежна топологија

Промените и одржувањето на топологијата може да биде разгледано во три фази, односно *фаза на распоредување, фаза на пост-распоредување и фаза на повторно распоредување* [7].

Почетната топологија се поставува за време на распоредувањето. Јазлите можат да бидат распоредени еден по еден, или може да бидат распоредени масивно, на пример, испуштајќи ги еден по еден од авион.

Промените во топологијата за време на фазата на пост-распоредување се должат на неуспесите на јазолот и промените на позицијата на јазлите поради мобилноста. За време на фазата на повторно позиционирање, се распоредуваат дополнителни јазли во мрежата. Ова може да се случи во секое време.

Средина на оперирање

WSN можат да бидат распоредени во домовите, фабриките, на бојното поле (област каде човечкиот живот е загрозен), на дното на океанот, во места каде што се случиле катастрофи, токсични области (области каде што здравјето на човекот е загрозено). Ова бара јазлите и мрежата да бидат дизајнирани за екстремно недостапни средини.

Медиум за пренос

Јазлите во безжичните сензорски мрежи комуникираат едни со други преку безжичен медиум за пренос. За успешно реализирање на преносот можат да се искористат радио фреквенцијата, инфрацрвените зраци или оптичкиот медиум. Важно е типот на медиум кој се користи да е достапен на глобално ниво, така што, неговата употреба нема да е ограничена на одредени области.

RF комуникацијата се користи од страна на сензорските јазли развиени од TUV за WSSN проектот, како и од страна на сензорските јазли развиени од Универзитетот на Калифорнија, Лос Анџелес (University of California, Los Angeles-UCLA) за Wireless Integrated Network Sensors (WINS) проект [8]. Со се поголемата употреба на сензорските јазли и потребата од RF комуникација, таа наоѓа голема примена во сите безжични сензорски мрежи.

Потрошувачка на енергија

Сензорскиот јазол е опремен со ограничен извор на енергија, а со тоа има и ограничен животен век кој зависи од тој извор. Во безжичните сензорски мрежи секој јазол може да поттикнува податоци и, исто така, може да ги рутира податоци. Кога неколку јазли ќе ги потрошат нивните енергетски ресурси, доаѓа до промена на топологијата, која може да бара препраќање на податочните пакети.

Задача на сензорските јазли е да ги прифатат податоците, извршат нивна обработка и истите да ги пренесат. Потрошувачката на енергија во еден јазол може да биде поделена во три области: комуникација, обработка и осетливост.

Вообичаено, јазолот го троши поголемиот дел од својата енергија за време на комуникацијата. Единицата за праќање ја троши енергијата за време на стартниот и активниот момент. Сензорските јазли користат кратки податочни пакети за комуникација. Како големината на овие пакети станува сè помала, важноста на консумиранта моќност во текот на стартното предавање се зголемува.

III. РУТИРАЧКИ ПРОТОКОЛИ

Иако постојат голем број на рутирачки протоколи за WSN, се уште постои голема потреба од нови протоколи кои можат да го продолжат животот на мрежата, можат лесно да се имплементираат во јазлите користејќи ја сегашната технологија и може да се користат за мрежи со различна големина.

WSN рутирачките протоколи, врз основа на мрежната структура, може да се класифицираат како *рамни* и *хиерархиски*.

Во рамните протоколи, секој јазол обично ја игра истата улога и сензорските јазли, за да ја извршат поставената задача, соработуваат помеѓу себе. Ова доведува до оддалечено рутирање на податоци, каде што базната станица испраќа барања до одредени региони и чека на податоци од сензорите лоцирани во избраните региони.

Рамните протоколи се поефикасни за употреба во WSN отколку хиерархиските протоколи, што се должи на фактот дека тие се скалабилни и едноставни. *Скалабилноста* на рамните мрежи се должи на фактот дека секој јазол учествува подеднакво во рутирачките задачи, како и на тоа што јазолот има потреба само од информација за неговите соседи. *Едноставноста* се должи на фактот дека рамните мрежи овозможуваат едноставно рутирање, без многу overhead, и нема потреба од сложени алгоритми.

Хиерархиските протоколи се добро познати техники со специјални предности поврзани на скалабилноста и ефикасната комуникација. Од овој аспект, за да обезбеди енергетско-ефикасно рутирање во WSN се користи концептот на хиерархиското рутирање. Во хиерархиската архитектура, високо-енергетските јазли се користат за процесирање и испраќање на информација, додека пак ниско-енергетските јазли се користат за процесирање на информација во близина на целта. Хиерархиското рутирање е ефикасен начин за намалување на потрошувачката на енергија во рамките на кластерот, вршење агрегација на податоци и фузија со цел да се намали бројот на пренесени пораки до базната станица.

Рутирачките протоколи можат понатаму да бидат поделени на изворно (source) иницирани и дестинациски (destination) иницирани протоколи.

IV. СТАНДАРДИ ЗА БЕЗЖИЧНО ПОВРЗУВАЊЕ

Во Март 1999 година, IEEE основа 802.15 работна група, како дел од IEEE Computer Society's 802 Local and Metropolitan Area Network Standards Committee. 802.15 работната група беше основана со специфична цел за развивање на стандарди за кратки безжични мрежи, позната и како персонална безжична мрежа (Wireless Personal Area Network- WPANs).

Во рамките на 802.15 работната група постојат четири целни групи. Целна група број еден (802.15.1) дефинира стандард за WPAN врз основа на физичкото (PHY) и MAC нивото на Bluetooth верзијата 1.1 [9].

Целна група два (802.15.2) развива модел за коегзистенција на WLAN (802.11) и WPAN (802.15). Целта на групата три (802.15.3) е да развие стандарди за голем проток на податоци кај WPAN (20Mbps и поголем). Целната група четири (802.15.4) е одговорна за развој на стандардите на физичкото (PHY) и MAC нивото за мал проток на податоци, не многу сложени решенија кои ќе го продолжат животниот век на батериите до повеќе години.

A. Преглед на IEEE 802.15.4/ZigBee

IEEE 802.15.4/ZigBee претставува глобален отворен стандард за безжичните сензорски мрежи за нивно следење и контрола. Тој е развиен од IEEE 802.15.4 целната група и ZigBee алијансата. Целта на развојот на овој стандард е да се исполнат следните потреби:

- ниска цена,
- ултра-ниска потрошувачка на енергија,
- користење на нелиценциран радио опсег,
- евтина и лесна инсталација,
- флексибилни и проширени мрежи.

Потенцијалните апликации на IEEE 802.15.4 стандардот вклучуваат: сензори, домашна автоматизација, паметни симболи, далечински управувачи, како и интерактивни игри [11].

B. ZigBee спецификации

Во Табела 1 се претставени основните спецификации на ZigBee 802.15.4 стандардот.

ТАБЕЛА 1
ОСНОВНИ СПЕЦИФИКАЦИИ НА ZIGBEE

	ZigBee 802.15.4
Опсег на пренос(метри)	1 - 100
Животен век на батерија(денови)	100 – 1.000
Големина на мрежа (# на јазли)	> 64.000
Пропустливост	20 - 250

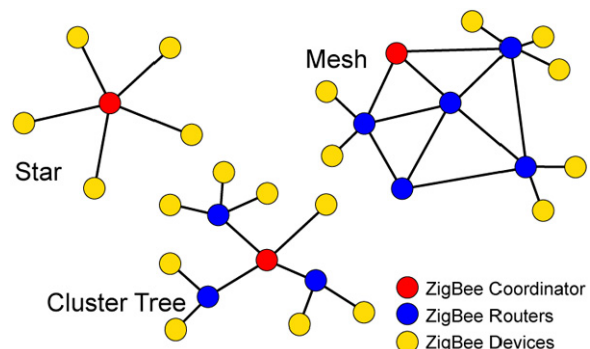
Мрежни компоненти

IEEE 802.15.4 протоколот во основа дефинира три типа на јазли:

- 1) *PAN (Personal Area Network) координатор*. Тој е главниот координатор на мрежата кој што ја идентификува својата PAN и на кој можат да бидат поврзани и други јазли. Исто така, предлага глобална синхронизација на услуги до другите јазли во мрежата преку пренос на beacon рамки кои што содржат идентификација за PAN и други релевантни информации.
- 2) *Координатор*. Тој ги има истите функционалности како и PAN координаторот, со исклучок на тоа што тој не ја создава својата PAN. Координаторот е поврзан со PAN координаторот и обезбедува услуги за локална синхронизација за јазлите во неговиот домет со помош на значајни преноси на beacon рамки кои ја содржат идентификацијата на PAN со која е поврзан, а која е дефинирана од PAN координаторот и други релевантни податоци.
- 3) *Едноставен (спореден) јазол*. Тоа е јазол кој нема никакви координирани функционалности. Тој, за да може да се синхронизира со другите јазли во мрежата, е поврзан како спореден јазол со PAN координаторот (или со Координаторот). Во IEEE 802.15.4 2003 стандардот, првите два типа на јазли се наведени како *целосно функционални уреди* (Full Function Devices-FFD), што значи дека тие ги имплементираат сите функционалности на IEEE 802.15.4 протоколот за да обезбеди синхронизација и управување со мрежата.

ZigBee топологии

Во IEEE 802.15.4 спецификацијата се дефинирани три основни мрежни топологии: топологија ѕвезда, Mesh топологија и кластер топологија во вид на дрво која може да се смета како посебен случај на Mesh топологијата.



Слика 2. Мрежни топологии

• Топологија ѕвезда

Како што може да се види од Слика 2, ZigBee координаторот е опкружен од група ZigBee рутери или

ZigBee крајни уреди. Овој вид на топологија е атрактивен поради неговата едноставност, но во исто време презентира и одредени клучни недостатоци. Во моментот кога координаторот престанува да функционира целата мрежа е нефункционална, затоа што целиот сообраќај мора да поминува низ центарот на ѕвездата (т.е. низ координаторот). Од иста причина, координаторот може лесно да биде “тесно грло” на сообраќајот во рамките на мрежата, особено поради тоа што ZigBee мрежата може да има повеќе од 60000 јазли.

• Кластер топологија во вид на дрво

Во мрежата во вид на дрво, координаторот ја создава мрежата и претставува корен на дрвото. Тој, исто така, може да има или рутери (RFD) или крајни уреди (FFD) поврзани на него. За секој поврзан рутер, можат да бидат поврзани повеќе јазли-деца на истиот. Јазлите-деца не можат да се поврзат со крајните уреди, затоа што ја немаат способноста да препраќаат пораки. Оваа топологија овозможува различни нивоа со јазли, каде што координаторот започнува на највисокото ниво. За да може пораките да се пренесат на други јазли во мрежата, изворниот јазол мора да ја препрати пораката до неговиот родител кој што се наоѓа на повисоко ниво од изворниот јазол и пораката постојано се пренесува на повисоко ниво во дрвото, се додека не се врати назад до крајниот јазол. Бидејќи бројот на потенцијални патеки кои пораката може да ги има е само една, овој вид не е најсигурниот тип на топологија.

• Mesh топологија Mhz

Оваа топологија е најфлексибилната топологија од сите три типа. Флексибилноста е присутна бидејќи пораката може да избере една од повеќето патеки од изворот до дестинацијата. Ако одреден рутер не успее, тогаш ZigBee механизмот (т.н. механизам за откривање на патека) ќе и овозможи на мрежата да пребарува за алтернативни патеки по кои пораката треба да помине [12].

ZigBee слоеви

ZigBee се состои од четири слоја. Најгорните два се апликацискиот и мрежниот слој. Нивните спецификации се добиени од ZigBee алијансата за да обезбедат производствени стандарди. Спецификациите на долните два слоја, MAC и физичкиот слој, се добиени од IEEE 802.15.4-2006 стандардот, каде се обезбедува коегзистентност без мешање со другите безжични протоколи, како Wi-Fi.

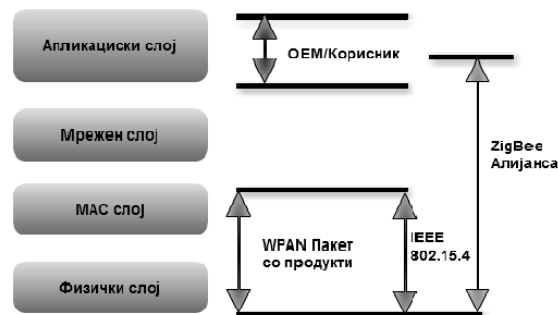
• Апликациски слој

Апликацискиот слој се наоѓа на највисокото ниво дефинирано во спецификациите и е ефективниот интерфејс на ZigBee системот до своите крајни корисници. Тој ги содржи поголемиот дел од компонентите додадени од страна на ZigBee спецификацијата: составен дел од овој слој се, исто така, двата ZDO (ZigBee Device Object) и неговите

процедури за управување, заедно со апликациските објекти дефинирани од производителот [12].

• Мрежен слој

Мрежниот слој е дизајниран да може да и овозможи на мрежата просторно да расте, без да има потреба од предаватели со висока моќност. Исто така, овој слој може да поддржи голема количина на јазли со релативно ниска латентност. Тој е одговорен за успешно создавање на мрежата, присоединување и напуштање на мрежата, подесување на нов уред, адресирање, синхронизирање во рамките на мрежата, безбедност и рутирање [12].



Слика 3. ZigBee слоеви

• MAC слој

Слојот за контрола на пристап кон медиумот е дизајниран да овозможи повеќе топологии без комплексност. MAC слојот е одговорен за адресирање на податоците, за да утврди каде е насочена рамката, или од каде доаѓа. Исто така, тој овозможува искористување на CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) техниката која овозможува сигурен трансфер на податоци. За крај, MAC слојот, со цел да се обезбеди безбедна комуникација, може да биде користен и од страна на повисоките слоеви [13].

• Физички слој

Физичкиот слој е обезбеден од страна на IEEE 802.15.4 стандардот. Овој стандард управува со физичките преноси на радио брановите во различни нелиценцирани фреквентни опсези низ целиот свет, со цел да обезбеди комуникација помеѓу уредите во рамките на WPAN. Работи на 2.4 GHz фреквенциски опсег со 250 kbps проток на податоци и 16 достапни канали. Овој слој овозможува при каналната селекција да се избегне радио интерференцијата, како и при размена на податоци со MAC под-слојот да се обезбеди бараната услуга [13].

V. СИМУЛАЦИСКИ МОДЕЛ

Симулирањето и моделирањето се важни пристапи кај развојот и оценувањето на системите во однос на времето и трошоците. Симулацијата го покажува

очекуваното однесување на системот врз основа на неговиот симулациски модел под различни услови. Оттука, целта на било кој симулациски модел е да го одреди точниот модел и да го предвиди однесувањето на реалниот систем. За симулирање ќе користиме OPNET Modeler 14.5, кој претставува водечка средина за моделирање и симулирање. Обезбедува сеопфатна развојна околина за поддршка и моделирање на комуникациски мрежи и дистрибуирани системи. Оваа верзија на симулаторот поддржува 3 типа на топологии: ѕвезда, “mesh” и кластер топологија во вид на дрво, каде што комуникацијата се одвива помеѓу еден централен контролер – PAN координатор, рутери и крајни уреди. Трите типа на топологии кои ќе бидат искористени во симулацијата имаат ист број на крајни уреди, рутери и PAN координатори.

A. Топологија ѕвезда

Структурата на симулацискиот модел е прикажана на Слика 4. Симулирано е сценарио на топологија во вид на ѕвезда, каде сите крајни уреди се поврзани на единствен PAN координатор. Со цел да воспостави комуникација, секој краен уред прво треба да комуницира со PAN координаторот, а потоа PAN координаторот да комуницира со крајниот уред кој е цел на оваа комуникација, односно два крајни уреди не можат да комуницираат директно.



Слика 4. Топологија ѕвезда

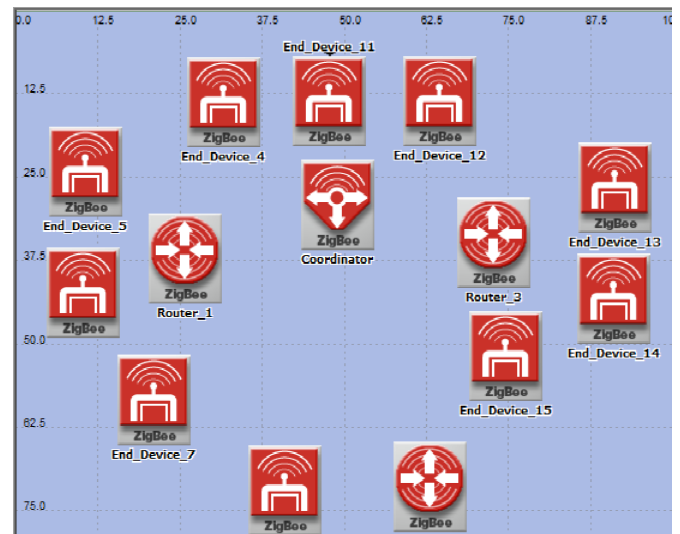
B. Mesh топологија

Структурата на симулацискиот модел е прикажана на Слика 5. Во оваа топологија, исто така, имаме еден PAN координатор. За разлика од топологијата ѕвезда, тука секој краен уред може да комуницира со било кој уред од мрежата се додека се наоѓаат во нивните опсези на покривање.

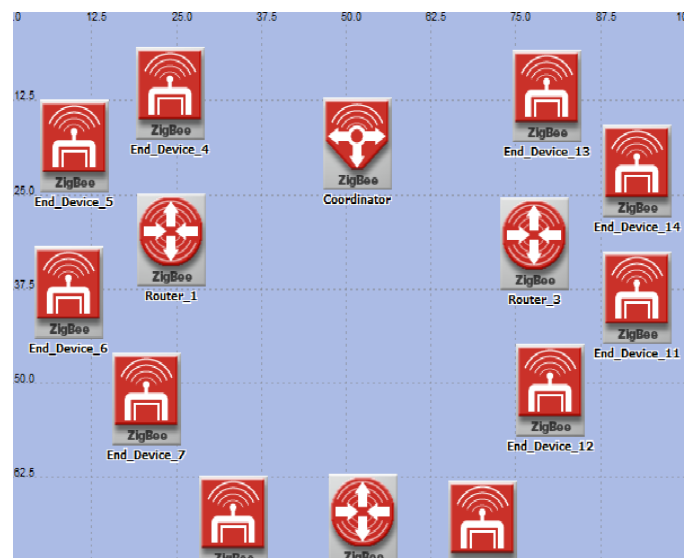
C. Кластер топологија во вид на дрво

Структурата на симулацискиот модел е прикажана на Слика 6. Содржи три PAN координатори кои управуваат со своите локални мрежи и комуницираат помеѓу себе. Останатите уреди во сценариото се крајни уреди кои комуницираат со своите PAN

координатори во peer-to-peer режим. Секој од координаторите може да предложи синхронизациски услуги на другите уреди и координатори. Само еден од овие координатори е всушност PAN координатор.



Слика 5. Mesh топологија



Слика 6. Кластер топологија во вид на дрво

D. Дефинирани атрибути и параметри

Симулацискиот модел се состои од четири функционални слоеви: физички, MAC, мрежен и применет слој. Физичкиот слој се состои од IEEE 802.15.4 безжични радиопредаватели и приемници кои работат на 2.4 GHz со проток од 250 Kbps, осетливост од -85dB и моќност на пренос 0.05 W. Целата симулација е во траење на 200 секунди.

На Слика 7 се прикажани атрибутите кои ги користат уредите од моделот заедно со нивните параметри.

Attribute	Value
name	End_Device_14
ZigBee Parameters	
MAC Parameters	
ACK Mechanism	(...)
Status	Enabled
ACK Wait Duration (seconds)	0.05
Number of Retransmissions	5
CSMA-CA Parameters	(...)
Minimum Backoff Exponent	3
Maximum Number of Backoffs	4
Channel Sensing Duration	0.1
Physical Layer Parameters	
Data Rate	Auto Calculate
Packet Reception-Power Threshold	-85
Transmission Bands	Worldwide
Transmit Power	0.05
Device Type	End Device
PAN ID	Auto Assigned
Application Traffic	
Destination	Coordinator
Packet Interarrival Time	exponential (1.0)
Packet Size	exponential (1024)
Start Time	exponential (1.0)

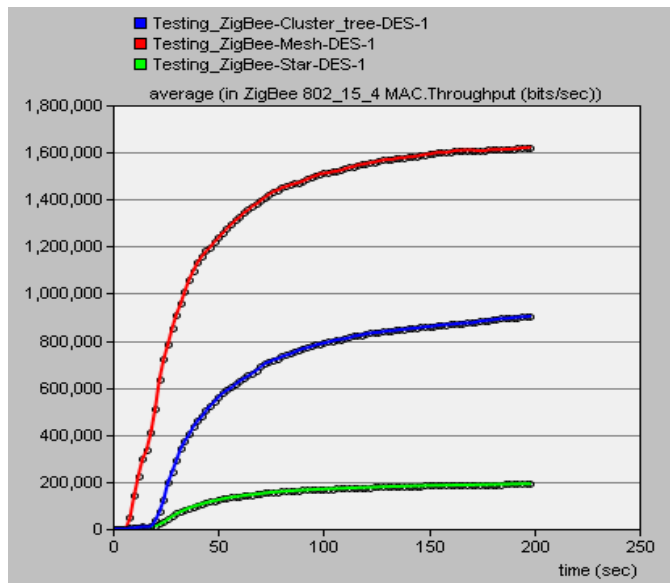
Слика 7. Дефинирани атрибути од корисникот

Е. Симулациски резултати

Со користење на овој симулациски модел го презентиравме однесувањето на мрежата со анализа на параметрите, и тоа: протокот, изгубените пакети, примениот и пратениот податочен сообраќај за трите типа на мрежни топологии.

• Проток

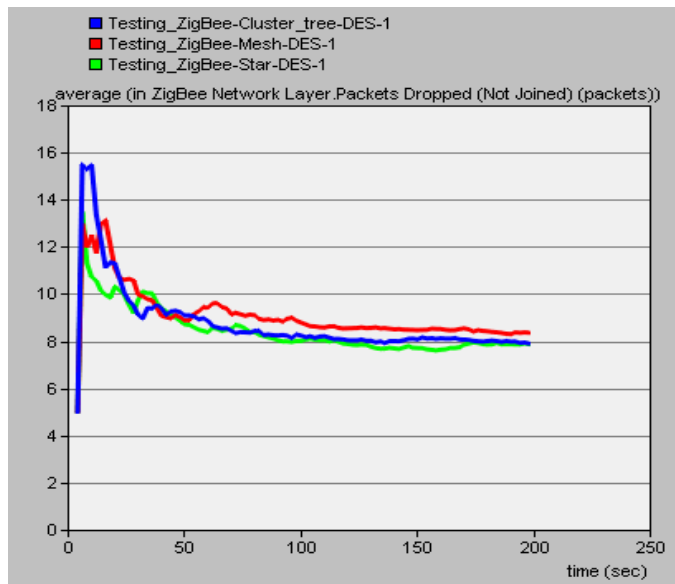
Протокот е просечниот број на бити или пакети успешно примени или пренесени од страна на приемниот или предавателниот канал во зависност од времето. На Слика 8 се прикажани резултатите за просечниот проток за трите типа на топологии. Максималните протоци што ги добивме се 192,230, 1,621,517 и 903,666 Kbps за топологијата ѕвезда, mesh и кластер во вид на дрво, соодветно. Анализирајќи го графикот и однесувањето на mesh топологијата, може да забележиме дека таа има поголем проток отколку другите две топологии, затоа што секој краен уред комуницира со сите други крајни уреди во мрежата, додека пак, во топологијата ѕвезда крајниот уред комуницира само со еден единствен PAN координатор. Исто така, може да забележиме дека протокот е минимален во случај на ѕвездената топологија во споредба со другите две топологии, затоа што единствениот PAN координатор мора да комуницира со сите други крајни уреди, што го зголемува мрежното оптоварување и го намалува протокот.



Слика 8. Проток

• Изгубени пакети

Изгубените пакети се клучен показател за оценка на успешно пренесените податочни пакети од изворот до дестинацијата. Се дефинираат кога пакетите не се во состојба да ја достигнат целта од изворот и се изгубени по патот поради фактори како што се: деградација на сигналот, презаситени линкови, оштетени пакети, погрешен мрежен хардвер итн. На Слика 9 се прикажани резултатите за секоја од трите топологии.

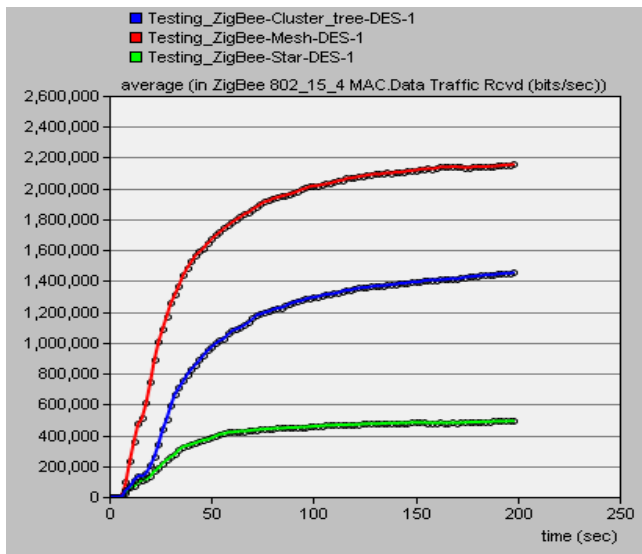


Слика 9. Изгубени пакети

Просечниот број на изгубени пакети кој го добивме изнесува 8.797, 9.144 и 8.462 за кластер, mesh и топологијата ѕвезда, соодветно. Може да забележиме дека изгубените пакети за кластер и ѕвезда топологијата се слични со mesh топологијата, бидејќи мрежното оптоварување во системот се дели со сите крајни уреди, што го намалува оптоварувањето и ги намалува судирите помеѓу пакетите во mesh топологијата.

• Примен податочен сообраќај

Слика 10 го покажува примениот податочен сообраќај за секоја од трите топологии.

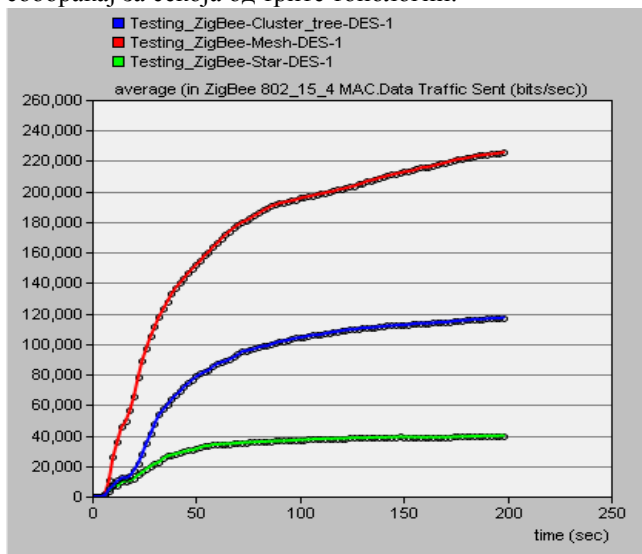


Слика 10. Примен податочен сообраќај

Од Слика 10 може да видиме дека максималниот примен податочен сообраќај за кластер, mesh и звезда топологиите изнесува 1.454,911, 2.155,447 и 493,323 Kbps, соодветно. Ова покажува дека примениот сообраќај е максимален во mesh топологијата, бидејќи сите крајни уреди комуницираат помеѓу себе и овие уреди се одговорни за генерираниот сообраќај и рутирање. Исто така, помалиот број на судари, а со тоа и помалата загуба на пакети, води до максимален примен сообраќај во mesh топологијата.

• Пратен податочен сообраќај

Слика 11 го покажува пратениот податочен сообраќај за секоја од трите топологии.



Слика 11. Пратен податочен сообраќај

Пратениот податочен сообраќај се дефинира како вкупен број на податочни бити испратени од изворот

до целта во една единица време, без оглед на тоа дали сите податочни бити ја достигнале целта или не. Од Слика 11 може да видиме дека пратениот податочен сообраќај за кластер, mesh и звезда топологиите изнесува 117.327, 225.745 и 39.912, соодветно. Ова покажува дека пратениот сообраќај е максимален во mesh топологијата, бидејќи ги користи сите PAN координатори и уреди за комуникација. Намалувањето на бројот на судири води до намалување на загубата на пакети при преносот, а ова нешто придонесува за максимален пратен сообраќај во mesh топологијата.

VI. ЗАКЛУЧОК

Во овој труд беше направен преглед на безжичните сензорски мрежи (WSN) и нивните технологии, стандарди и апликации. Безжичните сензорски мрежи се состојат од мали јазли со способност за осетливост, пресметувања и безжична комуникација. Рутирачките протоколи во безжичните сензорски мрежи може да се разликуваат во зависност од примената и мрежната архитектура. Еден од главните аспекти на сензорските мрежи е тоа што решенијата имаат тенденција да бидат специфични за одредена апликација.

Предноста на овие мрежи е фактот дека тие се конфигурираат самостојно, што значи дека сензорската мрежа може да биде распоредена случајно на бојното поле, во области каде се случиле катастрофи или недостапна области, без потреба од човечка интервенција.

Флексибилноста, високата осетливост, ниската цена и особината за брзо распоредување на сензорските мрежи создаваат многу нови и постоечки апликациски области за далечинско набљудување. Во иднина, овој широк спектар на апликациски области ќе ги направи сензорските мрежи составен дел од нашите животи.

Во продолжение на трудот е направен детален преглед на IEEE 802.15.4/ZigBee стандардот, кој дозволува едноставна интеракција помеѓу сензорите, начинот по кој се одвива интеракцијата помеѓу слоевите и нивните улоги во самиот процес на пренос на податоците. ZigBee уредите може лесно да се прикачат на мрежата, да разменат информација, да се одвојат и на крај да отидат во состојба на “спиене”, со што би се постигнало подолг век на батеријата.

За ги испитаме тополошките карактеристики на безжичните сензорски мрежи, симулиравме и анализиравме детални IEEE 802.15.4/ZigBee сценарија. Овој вид на анализа недостасува во библиотеката на OPNET Modeler симулаторот, а исто така претставуваат и почетна точка за да може подобро да разбереме како да ги имплементираме ZigBee мрежните модели каде што се нагласени тополошките параметри. Резултатите го покажуваат проучувањето на ефикасноста на трите типа на тополошки сценарија: кластер топологија во вид на дрво, mesh и звезда. Може да заклучиме дека протокот, изгубените пакети, примениот и пратениот

податочен сообраќај се најефикасни во случај на mesh топологијата, споредено со кластер и свезда топологиите за IEEE 802.15.4/ZigBee стандардот.

Нашата идна работа ќе биде поврзана со проучување на енергетската ефикасност и сигурност кај сите овие топологии засебно т.е. поголем акцент ќе биде ставен на развојот на протоколи кои би го продолжиле животниот век на батеријата, како и достап до изворниот код на OPNET со акцент на мрежниот и применетиот слој.

БИБЛИОГРАФИЈА

- [1] "21 ideas for the 21st century," *Business Week*, pp. 78–167, Aug. 30, 1999.
- [2] "10 emerging technologies that will change the world," *Technology Review*, vol. 106, no. 1, pp. 33–49, Feb. 2003.
- [3] H. Kumar, D. Sarma, A. Kar and R. Mall, "Energy Efficient Communication Protocol for a Mobile Wireless Sensor Network System" in *International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.9, No.2, February 2009.
- [4] C. Chong and S. P. Kumar, "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 91, no. 8, pp. 1247–1256, Aug. 2003.
- [5] S. Mähknecht, "WSSN (Wireless Self-sustaining Sensor Network) Project," 2005, <http://www.ict.tuwien.ac.at/wireless/>. Last accessed on 18 April 2005.
- [6] S. Mähknecht and M. Bock, "CSMA-MPS: a minimum preamble sampling MAC protocol for low power wireless sensor networks," in *Proceedings of the IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (IWFC)*, 22-24 Sept. 2004, Vienna, Austria, 2004, pp. 73–80.
- [7] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: A survey," *Computer Networks* (Elsevier), vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [8] G. J. Pottie and W. J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors," *Communications of the ACM*, vol. 43, no. 5, pp. 551–558, May 2000.
- [9] Bluetooth SIG, "Bluetooth Specification v1.1," 2001, <http://www.bluetooth.org/spec/>.
- [10] L. D. Paulson, "Will ultrawideband technology connect in the marketplace?," *Computer*, vol. 36, issue 12, Dec. 2003, pp. 15–17.
- [11] IEEE 802.15 WPAN Task Group 4, "IEEE 802.15.4 Standard 2003," 2003, <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2003.pdf>.
- [12] S. Leung, W. Gomez, J. J. Kim, "ZigBee Mesh Network Simulation using OPNET and Study of Routing Selection", Spring 2009.
- [13] P. Kinney, "ZigBee Technology: Wireless Control that Simply works", *Communication Design Conference*, 2 October 2003.
- [14] C. F. García-Hernández, P. H. Ibargüengoytia-González, J. García-Hernández, and Jesús A. Pérez-Díaz, "Wireless Sensor Networks and Applications: a Survey", *International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.7 No.3, March 2007.
- [15] G. Hoblos, M. Staroswiecki, and A. Aitouché, "Optimal Design of Fault Tolerant Sensor Networks," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications*, Sept. 2000, Anchorage, USA, 2000, pp. 467–472.
- [16] N. Bulusu, D. Estrin, L. Girod, and J. Heidemann, "Scalable Coordination for Wireless Sensor Networks: Self-Configuring Localization Systems," in *Proceedings of the Sixth International Symposium on Communication Theory and Applications (ISCTA)*, Jul.2001, Ambleside, UK, 2001, pp. 1–6.
- [17] G. Karayannis, "Emerging Wireless Standards: Understanding the Role of IEEE 802.15.4 & ZigBee in AMR & Submetering," 2003, http://www.zigbee.org/imwp/idms/popups/pop_download.asp?contentID=820.
- [18] E. Shi, A. Perrig: "Designing Secure Sensor Networks", *IEEE Wireless Communications*, pp. 38-43, December 2004.
- [19] A. Perrig, J. Stankovic and D. Wagner, "Security in Wireless Sensor Networks", *Communications of the ACM*, Vol.47, No.5, pp.53-57, June 24.
- [20] A.K. Pathan, H.W. Lee and C. S. Hong, "Security in Wireless Sensor Networks: Issues and Challenges", *ICACT2006*, Feb.20-22,2006.
- [21] J. Rehana, "Security of Wireless Sensor Networks", *Seminar on Internetworking*, April 27,2009.
- [22] A. Devineni, "Performance evaluation of body area network using ZigBee protocol", *Faculty of San Diego State University*, Spring,2011.